

Ülepítő medencék hatékonysága a szennyvíztisztításban

MTA doktori értekezés tézisei

Dr. Patziger Miklós

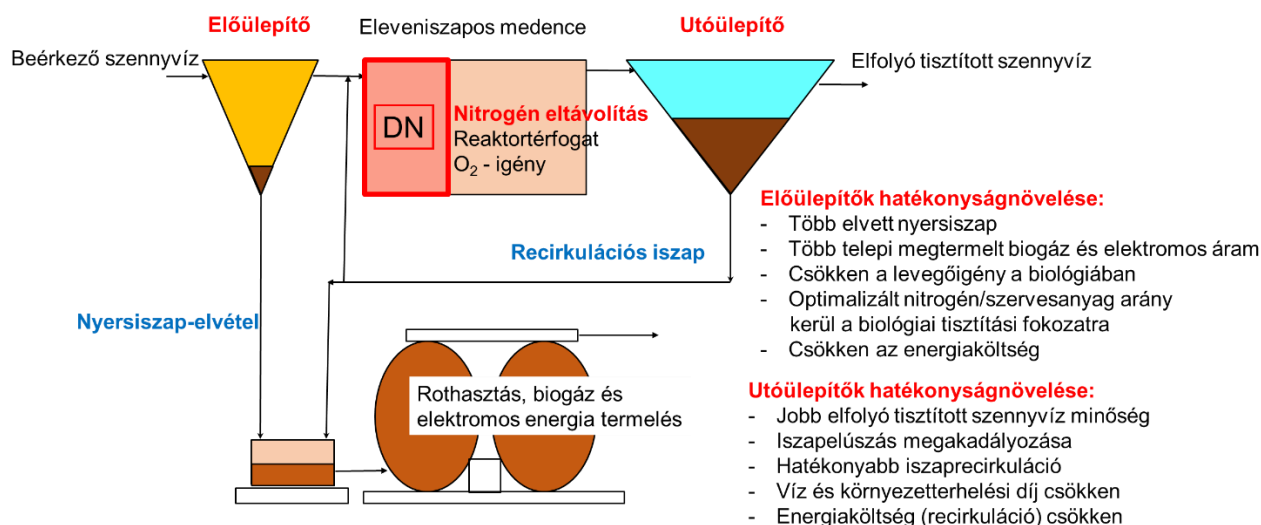
Budapest, 2021. június

Tartalom

1	Bevezetés	3
2	Célkitűzés.....	7
3	Módszer	7
4	Tézisek.....	9
	Irodalomjegyzék.....	15

1 Bevezetés

A szennyvíztisztításban kétféle ülepítő medence típust, az előülepítőket és az utóülepítőket különböztetjük meg. Mindkettő meghatározó eleme a szennyvíztisztításnak és a szennyvíztisztító telepek energetikai hatékonyságának (lásd többek között: ATV DVWK 1997, METCALF&EDDY 2002, EKAMA ET AL 1997, KARPINSKA&BRIDGEMAN 2016, Gao H & Stenström M 2019).



1-1. ábra: Ülepítő medencék (elő- és utóülepítők) hatásfoknövelésének jelentősége és eredményei egy eleveniszapos szennyvíztisztító telepen

Az előülepítők feladata az, hogy a beérkező szennyvízben található lebegőanyag-koncentráció és az ehhez kapcsolódó egyéb szennyezőanyagok leválasztásával kedvező feltételeket biztosítsunk a biológiai szennyvíztisztításhoz és a rothasztós biogáz-termeléshez (1-1. ábra).

Hatékony előülepítéssel:

- csökkentjük a biológiai szennyvíztisztítási fokozat szennyezőanyag-terhelését és a szükséges biológiai műtárgytérfogatot, valamint a légbefúvási igényt, ami jelentős elektromos energia- és költségmegtakarítást jelent, ezzel együtt
- a megnövekedett mennyiségű elvett nyersiszap rothasztása során megnő a biogázmennyiség és a telepi áramtermelés. Így a telepek elektromos energiaköltsége jelentősen csökkenthető, sőt, egyes esetekben azok energia-önfenntartóvá tehetők.

Az utóülepítők az eleveniszapos medencével együtt a biológiai tisztítási fokozat részét képezik.

A szennyvíztisztító telepeken alkalmazott utóülepítő medencéknek három fő feladatuk van (EKAMA ET AL. 1997, DWA A 131 2016):

- Az eleveniszap-pelyhek szeparálása a tisztított szennyvíztől pehelyképződés (flokkuláció) és a pelyheknek az ülepítése útján azért, hogy a szennyvíztisztító telepet elhagyó tisztított szennyvíz közel lebegőanyag-mentes (a DWA A 131 2000 és 2016 ajánlása szerint $X_E \leq 20 \text{ mg/l}$) legyen.
- A leülepedett iszap minél nagyobb mértékű tömörítése a medencefenéken, azért, hogy minél hatékonyabb iszaprecirkulációt érjünk el, és azért, hogy fenntartsuk az eleveniszapos medencében a biológiai tisztítás szempontjából elengedhetetlen magas eleveniszap-koncentrációt (rendszerint $X = 3$ és 5 kg/m^3 között).
- Az utóülepítő medencék feladata továbbá lökésszerű hidraulikai terhelés esetén (pl. heves zápor) az eleveniszapos medencéből az utóülepítő medencébe átmosódott iszaptömeg legfeljebb 2 óra hosszát történő tárolása. Ez utóbbi szélsőségesen magas terhelések esetén is hatékony ülepítést és iszaprecirkulációt igényel.

A jól működő ülepítők ismérve az, hogy adott műtárgytérfogat esetén minél nagyobb lebegőanyag leválasztási hatásfokot érünk el és a fenti célkitűzéseket maradéktalanul teljesítik.

Az ülepítők funkciója különösen fontos kérdés a szennyvíztisztító telepek nem-permanens, gyakran lökésszerű terhelésének – például záporcsúcsoknak – a tekintetében.

A lökésszerű hidraulikai terhelések növelik az ülepítők terhelését, és ezáltal azokban magas áramlási sebességeket és turbulenciát hoznak létre, amely csökkenti a lebegőanyag leválasztási hatékonyságukat (DITSIOS 1982, KAINZ 1991, BERTRAND- KRAJEWSKI ET AL. 1996) (1-2. ábra).

Ennek következtében:

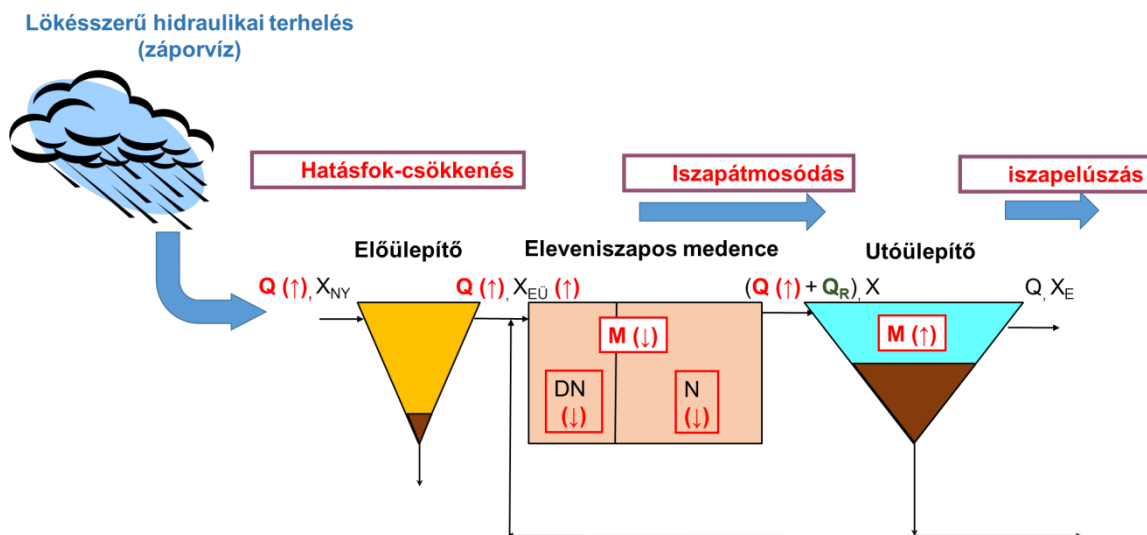
előülepítők esetében

- megnő az előülepítőből az eleveniszapos medencébe átjutó nyersiszap és szerves anyag koncentrációja $X_{EÜ} (\uparrow)$, ezáltal minden paraméter tekintetében nő a biológiai tisztítási fokozat szennyezőanyag-terhelése és csökken a biológiai tisztítás hatékonysága.
- Járulékos kárként a biológiai tisztítási fokozatra érkező nyersiszap és egyéb szerves szemcsék az eleveniszapos medencében lerakódásokat okoznak (1-3. ábra).

- Fajlagosan csökken az elvett nyersiszap mennyiség és a biogáztermelés, a biológiai tisztítási fokozat többletterhelése következtében pedig nő a biológiai tisztítás energiaigénye.

Utóülepítők esetében pedig

- az eleveniszapos medencéből átmosódik az iszap az utóülepítőbe, ennek következtében az eleveniszapos medencében csökken a tisztítás szempontjából az iszaptömeg $M (\downarrow)$, és ez tovább csökkenti a biológiai tisztítás hatékonyságát.
- Mindeközben nő az utóülepítőben tartózkodó biológiai tisztítás szempontjából inaktív iszaptömeg $M (\uparrow)$.
- Ha kimerül az utóülepítő kapacitása, iszapelúszás áll elő a befogadóba. Iszapelúszást követően az iszap újra felnövesztése a kellő koncentrációra hosszú időt (heteket) vesz igénybe, mialatt a biológiai tisztítási fokozatnak csökken a hatékonysága. Ez összességében akár hosszú távú ökológiai katasztrófához vezet a befogadóban (1-4. ábra).



1-2. ábra: Lökésszerű hidraulikai terhelések (záporcsúcsok) hatása egy eleveniszapos szennyvíztisztító telepre

Jelölések: Q [l/s, m^3/h] – beérkező szennyvízhozam, X_{NY} [mg/l, $g/l \equiv kg/m^3$] – beérkező nyers szennyvíz lebegőanyag koncentrációja, $X_{EÜ}$ [mg/l, $g/l \equiv kg/m^3$] – előülepített szennyvíz lebegőanyag koncentrációja; X [mg/l, $g/l \equiv kg/m^3$] – az utóülepítőbe áramló eleveniszap koncentráció, Q_R [l/s, m^3/h] – recirkulációs iszap hozam, X_E [mg/l, $g/l \equiv kg/m^3$] – elfolyó utóülepítésen átesett szennyvíz lebegőanyag koncentrációja, M [kg, t] – az eleveniszapos medencében tartózkodó iszaptömeg, N [%] nitrifikáció hatásfoka, DN [%] denitrifikáció hatásfoka



1-3. ábra: Nem működő mechanikai tisztítás és előületítés egyik következménye: lerakódások eltávolításának igénye a levegőztető elemek közötti gyakran mintegy 40-60 cm-nyi rétegben a levegőztető medencéből (fénykép: Patziger M.)



1-4. ábra: Gyakori kép, mint az utóületítőkből történő iszapelúszás következménye: kis befogadó eleveniszappal történő feltöltődése, amely tartós környezeti katasztrófához vezet (fénykép: Patziger M.)

Az ülepítőknek a szennyvíztisztítás hatékonyságában betöltött fontos szerepe ellenére tervezésük a gyakorlatban nemzetközi szinten is mindmáig szinte feketedoboz-jellegű irányelvek és értékek alapján valósul meg. Ezek az ülepítőkben ténylegesen kialakuló folyamatokat durva közelítéseket tartalmazó tapasztalati értékekkel képezik le, és a valósággal ellentétben permanens terhelési állapotot feltételeznek. Ezen tapasztalati értékek és a medence folyamatai valamint kapacitásvesztése között eddig nem vezettek le ok-okozati összefüggéseket. Arra sem találunk folyamatalapú útmutatást, hogy az ülepítők nem-permanens terhelési állapotú üzemeltetésének, mint például az iszaprecirkuláció, mik az utóülepítők hidrodinamikai folyamataiból levezethető főbb szabályai. Éppen ezért az ülepítők működésének javítása, tervezési és üzemeltetési elveinek komplex tudományos kutatáson alapuló folyamatos fejlesztése a szennyvíztisztító telepek hatékonyságnövelésének alapvető tényezője (EKAMA ET AL. 1997, ATV DVWK 2000 1. és 2, DWA A 131 2016, METCALF&EDDY 2002, GUJER 2007, SOMLYÓDY &PATZIGER 2012, KARPINSKA&BRIDGEMAN 2016, Gao H & Stenström M 2019).

2 Célkitűzés

A témakörben két évtizedre visszatekintő kutatásom célja az ülepítők működésének eddigieknél mélyebb megértése.

Ugyan közvetlen gyakorlati igényekből eredően, de tudományos célkitűzés azoknak a folyamatoknak, hatásmechanizmusoknak és tényezőknek a leírása, amely az ülepítők hatékonyságát lényegesen befolyásolják: nyers- és eleveniszapok ülepedési jellege, a pelyhek transzportja és ülepedése turbulens, sűrűségi hatásokkal terhelt áramlási térben, valamint a geometria, az üzemvitel és az időben szélsőségek között változó terhelés hatása mindezekre.

A kutatás várt gyakorlati jelentősége az eredmények és a kutatás során nyert ismeretek és felállított modellek felhasználása szennyvíztisztító telepek tisztítási és energetikai hatékonyságát növelő tervezésében és üzemeltetésében.

3 Módszer

A fenti célkitűzésekkel zajló kutatásaimat 2002-ben a Graz-i Műszaki Egyetem Települési Vízgazdálkodási Tanszékének tudományos munkatársaként kezdtem (PATZIGER 2007), majd 2007-től a Mélyépterv Komplex Zrt tervezőmérnökeként, és 2013-tól pedig a BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszéken, jelenleg egyetemi docenseként folytatom. Kutatásom első időszakában köralaprajzú utóülepítőkre dolgoztam ki a modellvizsgálatok és a

mérések módszertanát, majd az utóülepítők folyamatos vizsgálata mellett ezt fejlesztettem tovább téglalap alaprajzú utóülepítőkre és az utóülepítőktől a funkciójában, az ülepedő anyagában és a koncentráció tartományaiban jelentősen eltérő előülepítők elemzésére is.

A kutatás módszerét tekintve a következő lépéseket követtem:

1. Az utóülepítők nem-permanens állapotának és az iszaprecirkulációnak az elemzésére alkalmas modellrendszert fejlesztettem ki.
2. Felállítottam a modell fejlesztését, kalibrálását és verifikálását szolgáló mérési és laboranalitikai módszertant: finomfelbontású helyszíni akusztikus Doppler-elvű áramlás- és optikai elvű koncentrációeloszlás-mérések metszet menti raszterben. A medencébe belépő és az onnan kilépő iszap- és vízáramoknak, az iszap ülepedési jellemzőinek ezzel egyidejű helyszíni félüzemi léptékű és labormérése, valamint ezek hosszúidejű on-line monitorozása.
3. A modellt a grazi szennyvíztisztító telep (500 000 lakosegyenérték kapacitás) reprezentatív kör alaprajzú vízszintes átáramlású utóülepítő medencéjén igazoltam. Mivel a medence kialakításában és technológiájában a nagyvárosi szennyvíztisztítókon a legelterjedtebben alkalmazott utóülepítő típus, a modellvizsgálatokkal és mérésekkel nyert következtetések széles körben általánosíthatók.
4. A fenti módszertant kiterjesztettem téglalap alaprajzú utóülepítőkre is a csaknem egymillió lakosegyenérték-kapacitású Fővárosi Csatornázási Művek Észak-Pesti Szennyvíztisztító telep utóülepítő medencéinek a példáján.
5. Az utóülepítők kutatására felállított módszertant továbbfejlesztettem előülepítők elemzésére is. A többdimenziós egyfázisú utóülepítő modellezés módszertanát előülepítőkre alkalmazva előülepítő modellt fejlesztettem ki.
6. A modellt szintén a grazi szennyvíztisztító telep újonnan épített téglalap alaprajzú vízszintes átáramlású előülepítő medencéjén igazoltam. Mivel a vizsgált előülepítő típus is kialakításában és technológiájában a nagyvárosi szennyvíztisztítókon a legelterjedtebben alkalmazott előülepítő típus, a modellvizsgálatokkal és mérésekkel nyert következtetések ebben az esetben is széles körben általánosíthatók.
7. A téglalap alaprajzú előülepítőkre elért eredményeket kör alaprajzú előülepítőkre is felülvizsgáltam a 64 000 lakosegyenérték kapacitású németországi Marl-West szennyvíztisztító telepen létesülő kör alaprajzú előülepítők formatervezése során.
8. Kutatási eredményeimet – a modelleket és a modellvizsgálatokból illetve mérésekből leszárt következtetéseket – több nagyvárosi szennyvíztisztító telep elő-, illetve utóülepítő tervezésénél, rekonstrukciójánál, illetve üzembeállításánál alkalmaztam, illetve az irodalomjegyzékben közölt értekezéshez kapcsolódó nemzetközi folyóiratcikkekben publikáltam.

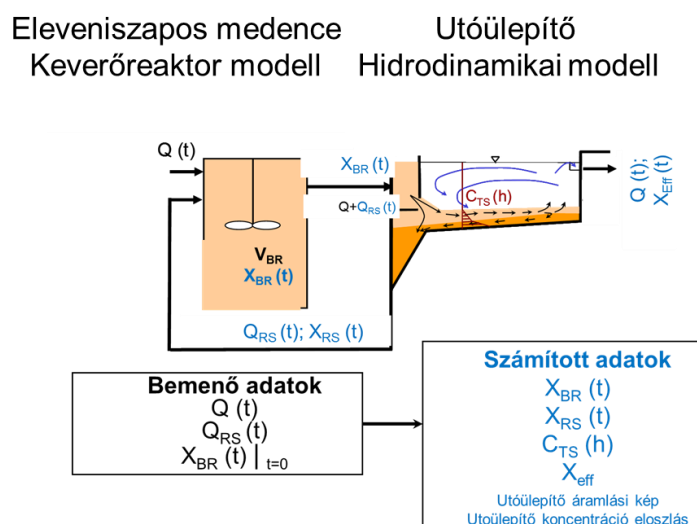
4 Tézisek

1.

A hidrodinamikai utóülepítő modellek az utóülepítőket eddig az eleveniszapos medencétől függetlenül permanens peremfeltételekkel kezelték. Ezzel az akár rövid időn belül is széles határok között változó üzemi paraméterek és az iszaprecirkuláció ülepítésre gyakorolt hatását elhanyagolták. Ezért olyan modellrendszert fejlesztettem ki és valósítottam meg numerikusan, amelyben a tömeg- és energiamegmaradási egyenleteken és k-epszilon turbulenciamodellel alapuló 2D hidrodinamikai utóülepítő modellt újszerűen az eleveniszapos medence ideálisan homogén elkeveredést feltételező keverőreaktor-modelljével bővítettem, az iszap transzportját standard skalártranszport-egyenlettel számítva. A modellezett közegben a sűrűség, a viszkozitás és az üledési sebesség a keverék áramlásának megfelelően, a helyi lebegőanyag-koncentráció függvényében változik. A modell a valós terhelés és recirkuláció térfogatáram- és koncentráció-idősoraiból kiindulva meghatározza az eleveniszapos medencét leképező keverőreaktor-modellben kialakuló koncentráció idősorát, ezzel az eddig ismerteknél jóval pontosabban teszi számszerűsíthetővé az utóülepítő időben változó terhelését, áramképét és koncentrációeloszlását, valamint az elfolyó szennyvíz, illetve a recirkuláció koncentrációját.

A modellrendszert sikerrel alkalmaztam a grazi, az FCSM észak-pesti és a kecskeméti szennyvíztisztító telep és több regionális szennyvíztisztító telep utóülepítőinek fejlesztésénél.

(1) (2)



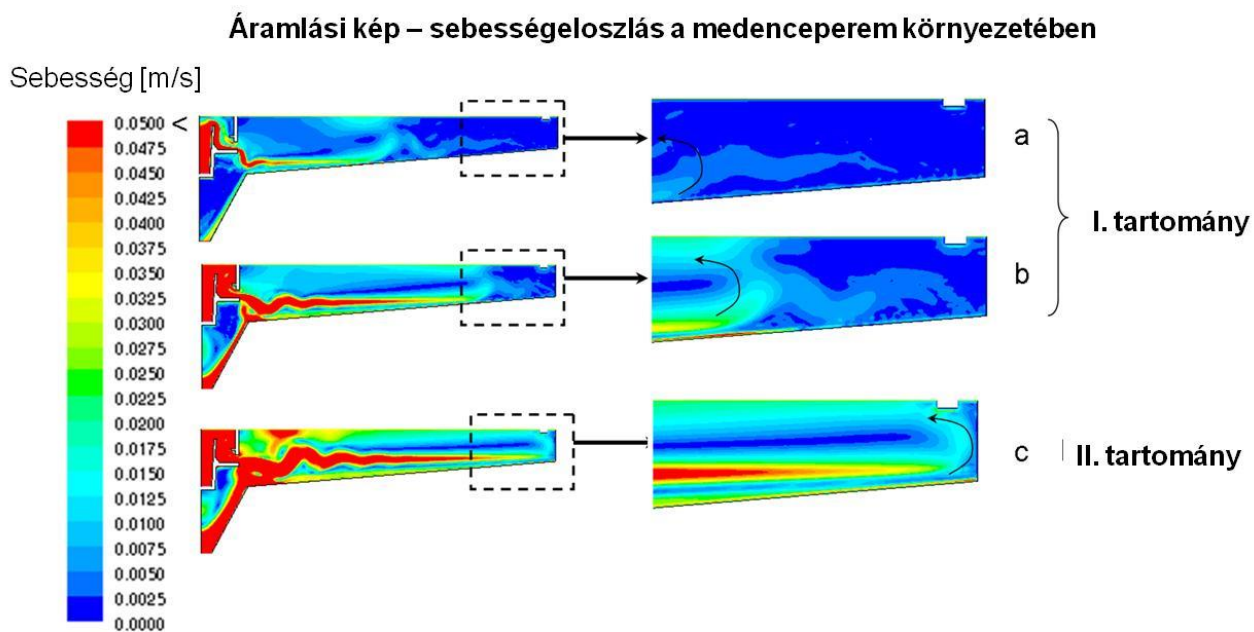
4-1. ábra Eleveniszapos medence keverőreaktor modelljével bővített többdimenziós utóülepítőmodell sémája

2.

A szakirodalomban és a meglévő tervezési irányelvekben az utóülepítő kapacitásának a határát tapasztalati értékekkel jellemzik. Ilyenek a felületi terhelésre és az iszapterhelésre adott határértékek. Ezen tapasztalati értékek és a medence folyamatai között eddig nem vezettek le ok-okozati összefüggést.

Megmutattam, hogy jól ülepedő eleveniszapok esetében ($ISV < 120$ l/kg) egy utóülepítőben akkor áll be kapacitásvesztés, ha az iszap-víz határfelületen terjedő sugár menti előretartó áramlás eléri a medence peremfalát. Ilyenkor a medencefal melletti vízfelszín felé irányuló függőleges sebességkomponensek megnőnek és meghaladják az eleveniszap ülepedési sebességét. Ennek hatására az elfolyó szennyvíz lebegőanyagkoncentrációja ugrásszerűen megnő és iszapelúszás alakul ki.

Ez a felismerés újszerű alapot szolgáltat az utóülepítők tervezéséhez. (2)



4-2. ábra: Növekvő hidraulikai terhelés hatása a köralaprajzú utóülepítő medencékben terjedő medencesugár menti előretartó áramlás hosszára és az ez által generált átforduló áramlásra

3.

Azon eddig ismert kutatások, amelyek bevezető műtárgyak hatását vizsgálták az ülepítés hatékonyságára, egyöntetűen rávilágítottak a bevezetési magasság és az iszaptükörszint közötti összefüggésre.

Ebből kiindulva megmutattam, hogy optimális vízbevezetési magasság esetén alacsony és magas terheléseknél egyaránt csökkennek a sebességek a bevezetés környezetében és csökken az iszap-víz határfelületen terjedő sugár menti előretartó áramlás adott terheléshez tartozó hossza. Ezzel nő az utóülepítők hatékonysága. Ez jellemzően mély, a medencemélység felezősíkjá alatti bevezetéseknél teljesül. (6)

4.

Az iszaprecirkulációnak az utóülepítők áramlási és koncentrációviszonyaira gyakorolt hatását eddigi kutatásokban érdemben nem elemezték. A jelenlegi tervezési irányelvek az iszaprecirkuláció mértékét medence áramlási és koncentráció-viszonyaitól függetlenül határozzák meg. Valós napi terhelésidősorok és iszaprecirkulációs stratégiák kombinációinak elemzésével megállapítottam, hogy az iszaprecirkuláció térfogatárama – mint az utóülepítők terhelésének része – jelentős hatást gyakorol az utóülepítők áramlási képére. Az iszaprecirkuláció térfogatáramának növelésével a biológiai reaktortérbe recirkuláltatott iszap-tömegáram csak addig nő meghatározó mértékben, amíg az ülepítés és sűrítés folyamatát az ülepítőterben előálló áramlási sebességek és turbulencia viszonyok nem gátolják. Ezt a gátló hatást a jelen értekezésben bemutatott reprezentatív vizsgálatoknál $R = Q_R/Q_{MAX} = 0,60-0,80$ recirkulációs aránynál tapasztaltuk. Ez az értéktartomány a jövőben általános irányszámként szolgálhat az iszaprecirkuláció tervezéséhez. (2)

5.

Az előülepítők kutatásában jelentős hiányt képez a nyersiszap ülepedési jellegének a leírása. Az előülepítőkben lehetségesen előforduló koncentrációtartományban ($X = 0,05 - 22 \text{ g/l}$) félüzemi léptékű mérőhengerekben végzett méréssorozatok alapján megállapítottam, hogy a nyers (primer) iszap ülepedési folyamata már alacsony koncentráció tartományokban ($X < 1 \text{ g/l}$) a lokális koncentráció függvénye. A nyersiszap ülepedési sebessége a következő mérési eredményekre illesztett összefüggés (ülepedési függvény) alapján számítható:

$$v_s = 0 \quad \text{ha } (0 < X < 0,025 \text{ g/l}), \quad (1)$$

$$v_s = 3,6X - 0,09 \quad \text{ha } (0,025 < X < 0,050 \text{ g/l}),$$

$$v_s = 0,09 \quad \text{ha } (0,050 < X < 0,080 \text{ g/l}),$$

$$v_s = 0,167 \cdot e^{-0,008X} \quad \text{ha } (0,080 \text{ g/l} < X),$$

ahol v_s az ülepedési sebesség (cm/s) és X pedig a helyi lebegőanyag-koncentráció (kg/m^3). A fenti összefüggés érzékenységvizsgálatát több nagyvárosi szennyvíztisztító telepen elvégezve megállapítottam, hogy az nagyvárosi szennyvíztisztítók előülepítőire általánosságban alkalmazható. (3)

6.

Ugyan az előülepítők áramlási és koncentrációviszonyainak a kapcsolt elemzése az eddigi kutatásokban hiányt képezett, de az előülepítés folyamatainak megismerése szempontjából ez kulcsfontosságú. Az eddigi előülepítő modellek a nyersiszap jelenlétét az előülepítőkben vagy elhanyagolták ("tisztá víz modellek"), vagy diszkrét szemcsehalmazként kezelték az ülepedési sebesség helyi koncentrációtól való függésének elhanyagolásával. A többdimenziós egyfázisú utóülepítő modellezés módszertanát előülepítőkre átültetve olyan hidrodinamikai előülepítő modellt fejlesztettem, amely a többdimenziós egyfázisú utóülepítő modellek felépítéséből indul ki, és az iszap ülepedési sebességét az előülepítők áramlási folyamataira halmozva félüzemi léptékben elvégzett méréssorozatok alapján előállított függvény szerint számítja a helyi koncentráció függvényében.

A modellt sikerrel alkalmaztam a grazi (Ausztria) és a kecskeméti szennyvíztisztító telepek előülepítőinek fejlesztésénél, valamint a Marl-West (Németország) és a Váci szennyvíztisztító telepek új előülepítési fokozatának tervezésénél. (3)

7.

Az előülepítők tervezési tartományát a tervezési irányelvek évtizedek óta $q_A = 4-5$ m/h felületi terhelésnél adják meg. A geometriai kialakítás részleteiről, elsősorban a bevezetési magasság hatékonyságban betöltött szerepéről azonban eddig nem állt rendelkezésre ismeret. Nem-permanens és a fenti tervezési határt jelentősen meghaladó terhelésekre ($q_A = 9,5$ m/h, 13 m/h) is kiterjesztett helyszíni mérések és modellszámítások alapján megállapítottam, hogy a vízbevezetési magasság az előülepítők esetében különösen a tervezési tartományt jelentősen (kétszeresen-háromszorosan) meghaladó terheléseknél döntő mértékben befolyásolja az áramképet és koncentrációeloszlást, és ezzel a medence leválasztási hatékonyságát. Előülepítők esetében az áramkép és a koncentrációeloszlás kapcsolt elemzésére épülő tervezéssel a jelenlegi tervezési határ akár a többszörösére emelhető. Így az eddigieknél hatékonyabb medencék létesíthetők (adott terheléshez kisebb medenceméretek, vagy adott medencemérethez nagyobb terhelések megengedhetők). Az előülepítőkre jellemző áramlási sebesség- és koncentrációtartományoknál a jelen értekezésben bemutatott vizsgálatok alapján magas vízbevezetés elhelyezés javasolt. (3), (4), (5), (7), (8)

A tézisek témakörében született nemzetközi impaktfaktoros publikációim:

(1) Patziger M, Kainz H, Hunze M, Józsa J

Analysing sludge balance in activated sludge systems with a novel mass transport model
WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY 57 : 9 pp. 1413-1419. (2008)

(2) Patziger M, Kainz H, Hunze M, Józsa J

Influence of Secondary Settling Tank Performance on Suspended Solids Mass Balance in Activated Sludge Systems WATER RESEARCH 46:(7) pp. 2415-2424. (2012)

(3) Patziger M, Kiss K

Analysis of suspended solids transport processes in primary settling tanks
WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY 72:(1) pp. 1-9. (2015)

(4) Patziger M, Kiss K

Towards a hydrodynamically enhanced design and operation of primary settling tanks – Results of a longterm in situ measurement investigation program
WATER AND ENVIRONMENT JOURNAL 29:(3) pp. 338-345. (2015)

(5) Patziger M, Günthert F W, Jardin N, Kainz H, Londong J

On the design and operation of primary settling tanks in state of the art wastewater treatment and water resources recovery
WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY wst2016/349. 9 p. (2016)

(6) Patziger M

Computational fluid dynamics investigation of shallow circular secondary settling tanks: Inlet geometry and performance indicators

CHEMICAL ENGINEERING RESEARCH AND DESIGN 112: pp. 122-131. (2016)

(7) Kiss K, Patziger M

On the accuracy of three dimensional flow measurements at low velocity ranges in municipal wastewater treatment reactors

FLOW MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION 64 pp. 39-53. (2018)

(8) Patziger M

Improving wastewater treatment plant performance by applying CFD models for design and operation: selected case studies WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY Paper:

wst2021019 (2021)

Irodalomjegyzék

- ATV-DVWK (1997): Lehr und Handbuch der Abwassertechnik – Biologische und weitergehende Abwasserreinigung; Ernst and Sohn, Berlin
- ATV A 131 (2000-1): Arbeitsblatt A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser, und Abfall e.V., GFA Verlag, Hennef
- ATV-DVWK (2000-2) Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. ATV-DVWK A 131E Standard, GFA Publishing Company of ATV-DVWK, Hennef. p. 57.
- Bertrand-Krajewski J.-L., Lefevre, M. und Chantellier, P. (1996): Impact of storm events in activated sludge transfers in a small waste water treatment plant: measurement and modelling; in Proceeding of the International Conference on Urban Storm Drainag
- Ditsios, M. (1982) Untersuchungen über die erforderliche Tiefe von horizontal durchströmten rechteckigen Nachklärbecken von Belebungsanlagen; Band 8 Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft, Grundwasserhydraulik und Landwirtschaftlichen Wasserbau, TU Graz
- DWA A 131 (2016) Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, DWA, Hennef, 06/2016, p. 68 ISBN 978-3-88721-331-2
- Ekama, G. A., Barnard. J. L., Günthert, F. W., Krebs, P., McCorquodale, J. A., Parker, D. S. und Wahlberg, E. J. (1997) Secondary Settling Tanks: Theory, Modelling, Design and Operation; IAWQ Scientific and Technical Report No. 6, London.
- Gao H, Stenström M (2019) Development and applications in CFD modeling for secondary settling tanks over the last three decades: a review Water Environment Research 92 : (6) pp. 796-820., 25 p.
- Gujer, W. (2007) Siedlungswasserwirtschaft (Vol. 3.). Berlin: Springer. 3th Edition p. 431.
- Kainz, H. (1991), Auswirkungen von Stoßbelastungen auf den Feststoffhaushalt einer Belebungsanlage, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 16, Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft, Grundwasserhydraulik und Landwirtschaftlichen Wasserbau, TU Graz
- Karpinska AM, Bridgeman J (2016) CFD-aided modelling of activated sludge systems - A critical review. Water Research 2016 Jan 1;88: 861-879.
- Metcalf & Eddy (2002) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. New York: McGrawHill, Inc. 4th Edition p. 1819.
- Patziger, M (2007) Untersuchung der Schlamm Bilanz in Belebungsstufen aufbauend auf den Prozessen im Nachklärbecken Graz, Ausztria: Verlag der Technischen Universität Graz (2007) , 210 p. ISBN: 9783902465801

Somlyódy L, Patziger M. (2012) Urban Wastewater Development in Central and Eastern Europe Water Science and Technology 66:(5) pp. 1081-1087.